Il pettirosso quantistico

Per orientarsi sul globo terrestre gli animali usano una moltitudine di metodi diversi: alcuni osservano il Sole durante il giorno e le stelle di notte, altri memorizzano punti di riferimento nel paesaggio, altri ancora sono guidati dall'olfatto. Ma il sistema di navigazione più misterioso è quello del pettirosso: lui ha la capacità di rilevare la direzione e l'intensità del campo magnetico terrestre, chiamata «*magnetoricezione*».

Il meccanismo che permette al nostro pettirosso di sapere per quanti chilometri volare, e in quale direzione, è codificato nel suo DNA, che ha ereditato dai genitori. Esso ha l'abilità di sentire il campo magnetico terrestre, e di ottenere informazioni sulla direzione da tenere per mezzo di un senso di navigazione, che comporta l'uso di un particolare tipo di bussola chimica. Si stabilì che il senso magnetico dei pettirossi funziona come una bussola di inclinazione, che misura l'angolo di inclinazione tra le linee del campo magnetico e la superficie terrestre, permettendo al pettirosso di distinguere il polo dall'equatore. Ma non era chiaro come potesse funzionare una bussola biologica di questo genere e come facesse il pettirosso a «sentire» il campo magnetico terrestre, che essendo molto debole non può essere rilevato da un animale. La risposta a queste due domande è stata trovata all'interno di una delle teorie scientifiche più sorprendenti del nostro tempo, e ha a che fare con lo strano mondo della meccanica quantistica.

Gli elettroni hanno una proprietà chiamata *spin*, visualizzabile come una rotazione dell'elettrone su se stesso, nei sensi orario o antiorario, corrispondenti agli stati quantici di «spin su» o «spin giù». Un elettrone può trovarsi contemporaneamente in entrambi gli stati: stato di *sovrapposizione quantistica*. Per il principio di esclusione di Pauli due elettroni accoppiati in un atomo, con la stessa energia, devono avere spin opposto. Allora si può pensare che gli spin si cancellano a vicenda, e diciamo che gli elettroni sono in uno «stato di singoletto». Quando non sono accoppiati allo stesso livello di energia, due elettroni possono avere spin uguale, e questo si chiama «stato elettronico di tripletto».

Consideriamo due elettroni in un atomo, ognuno in sovrapposizione di due stati di spin. Sebbene entrambi gli elettroni siano in sovrapposizione e si trovino in entrambi gli stati, spin su e spin giù, devono anche, in ogni istante, avere spin opposto. Ora separiamo i due elettroni, così che non si trovino più nello stesso atomo. Se a questo punto decidiamo di misurare lo stato di spin di uno degli elettroni, trovandolo in stato di spin su, scopriamo che il secondo elettrone ha istantaneamente, e a distanza, cambiato il proprio stato, dalla sovrapposizione allo spin giù, senza che nessuno lo toccasse. Tutto ciò avviene grazie alla *correlazione quantistica*: le due particelle restano collegate, anche se situate a grande distanza fra loro.

I legami tra gli atomi e tra le molecole, si formano tramite la condivisione di una coppia di elettroni, sempre in correlazione quantistica, e quasi sempre in stato di singoletto. Quando un legame si rompe, gli atomi separati, chiamati «radicali liberi», si possono allontanare l'uno dall'altro, e se lo spin di uno degli elettroni si inverte,

succede che i due elettroni in correlazione quantistica tra loro (che ora sono su atomi diversi) si trovano in sovrapposizione di stati di singoletto e di tripletto. Le coppie di radicali liberi tendono a essere molto *instabili*, quindi i loro elettroni spesso si ricombinano a formare i prodotti di una reazione chimica, la cui natura chimica dipende dall'equilibrio singoletto-tripletto, che risulta sensibile al *debole*(1) campo magnetico terrestre.

(1) *Si pensi ad un blocco di granito in equilibrio instabile su un suo spigolo, che si rovescia quando una mosca gli si posa sopra.*

Ecco quindi un meccanismo per cui i campi magnetici riescono a influenzare le reazioni chimiche, e quindi a fornire una bussola magnetica al nostro pettirosso. Il ricettore di una tale bussola sarebbe una proteina che si trova nell'occhio del pettirosso: il *crittocromo*. Un fotone di luce blu viene assorbito da una molecola sensibile alla luce, il pigmento flavina adenina dinucleotide (FAD) all'interno del crittocromo. L'energia di questo fotone viene usata per emettere un elettrone da uno degli atomi della FAD, lasciando al suo posto una lacuna elettronica. Questa può essere riempita da un altro elettrone, donato da una coppia di elettroni in correlazione quantistica in un amminoacido, chiamato triptofano, all'interno del crittocromo. L'elettrone donato rimane in correlazione con il suo compagno, e la coppia di elettroni correlati può trovarsi in una sovrapposizione di stati di tripletto e singoletto, che è particolarmente sensibile alla forza e all'angolo del campo magnetico terrestre, quindi la direzione in cui vola l'uccellino crea una differenza nella composizione dei prodotti chimici finali generati dalla reazione. In qualche modo, mediante un meccanismo non completamente chiaro nemmeno ora, questa differenza genera un segnale, che viene inviato al cervello e indica all'uccello dov'è il polo magnetico più vicino. Non abbiamo idea di cosa provino gli uccelli, in che modo riescano a «vedere» il campo magnetico, ma siccome il crittocromo è un pigmento, potenzialmente funziona in modo simile ai pigmenti che permettono di vedere i colori. Quindi, forse, quando gli uccelli guardano il cielo vedono un altro colore, a noi invisibile, che disegna ai loro occhi il grafico del campo magnetico terrestre.

La magnetoricezione associata al crittocromo è stata scoperta in una quantità di creature, dal nostro prode pettirosso ai polli, ai moscerini della frutta, agli scarafaggi, e perfino in alcune piante. La scoperta di un'abilità e di un meccanismo così largamente diffusi in natura suggerisce che esso sia stato ereditato da un antenato comune. Quindi le bussole quantistiche sono probabilmente molto remote; forse fornivano il senso dell'orientamento ai rettili e ai dinosauri, che vagavano nelle paludi del Cretaceo, da cui gli uccelli moderni discendono.

Questo articolo è stato tratto dal saggio di Jim Al-Khalili, Johnjoe McFadden - La fisica della vita.